

PCT/JP2004/010660

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

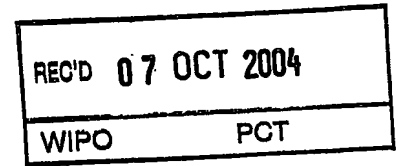
19.08.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 7月28日

出願番号
Application Number: 特願2003-281212
[ST. 10/C]: [JP2003-281212]



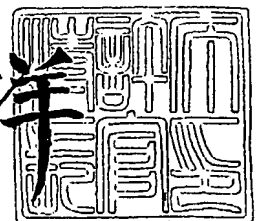
出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 9月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川 洋



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2004-3085716

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH155621
【提出日】 平成15年 7月28日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01S 3/06
H01S 3/09
H01S 5/00
G02F 1/383

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 山田 誠

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 青笹 真一

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 阪本 匡

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 森 淳

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 鹿野 弘二

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 清水 誠

【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】
【識別番号】 100077481
【弁理士】
【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】
【識別番号】 100088915
【弁理士】
【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 013424
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701393

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2.3 μm 帯で動作することを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 2】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 3】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2.3 μm 帯と 1.8 μm 帯の両波長域で動作することを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 4】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移と $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 5】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のファイバレーザ。

【請求項 6】

前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ピスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項 5 に記載のファイバレーザ。

【請求項 7】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2.3 μm 帯で動作するファイバレーザにおいて、

励起光源として 0.67 μm 帯あるいは 0.8 μm 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 8】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いるファイバレーザにおいて、

励起光源として 0.67 μm 帯あるいは 0.8 μm 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に

起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 9】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載のファイバレーザ。

【請求項 10】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2.3 μm 帯で動作することを特徴とする自然放出光源。

【請求項 11】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする自然放出光源。

【請求項 12】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、2.3 μm 帯と 1.8 μm 帯の両波長域で動作することを特徴とする自然放出光源。

【請求項 13】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした自然放出光源において、

前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、励起光源として 1.2 μm 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記ツリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移と $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする自然放出光源。

【請求項 14】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項 10 ないし 13 のいずれかに記載の自然放出光源。

【請求項 15】

前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項 14 に記載の自然放出光源。

【請求項 16】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、2.3 μm 帯で動作する自然放出光源において、

励起光源として 0.67 μm 帯あるいは 0.8 μm 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする自然放出光源。

【請求項 17】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いる自然放出光源において、

励起光源として $0.67\mu\text{m}$ 帯あるいは $0.8\mu\text{m}$ 帯の光を用いると共に、少なくとも前記トリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする自然放出光源。

【請求項 18】

少なくとも前記トリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項 16 または 17 に記載の自然放出光源。

【請求項 19】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、励起光源として $1.2\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記トリウムを励起する励起光源を用い、 $2.3\mu\text{m}$ 帯で動作することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 20】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、励起光源として $1.2\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記トリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 21】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、励起光源として $1.2\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記トリウムを励起する励起光源を用い、 $2.3\mu\text{m}$ 帯と $1.8\mu\text{m}$ 帯の両波長域で動作することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 22】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした光ファイバ増幅器において、

前記光ファイバに少なくともトリウムを添加し、励起光源として $1.2\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは基底準位 $^3\text{H}_6$ から $^3\text{H}_5$ 励起準位へ前記トリウムを励起する励起光源を用い、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移と $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 23】

少なくとも前記トリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする請求項 19 ないし 22 のいずれかに記載の光ファイバ増幅器。

【請求項 24】

前記非石英系ファイバが、フッ化物ファイバ、テルライトガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項 23 に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項 25】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバ

を利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、 $2.3\mu\text{m}$ 帯で動作する光ファイバ増幅器において、

励起光源として $0.67\mu\text{m}$ 帯あるいは $0.8\mu\text{m}$ 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 26】

コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とし、前記光ファイバに少なくともツリウムを添加し、 $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を用いる光ファイバ増幅器において、

励起光源として $0.67\mu\text{m}$ 帯あるいは $0.8\mu\text{m}$ 帯の光を用いると共に、少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、石英ガラスよりも低いマルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率を有するガラスを光ファイバのホストガラスとして用いる非石英系ファイバであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 27】

少なくとも前記ツリウムを添加した前記光ファイバが、テルライトガラスファイバ、ピスマス系ガラスファイバ、フツリン酸ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ゲルマン酸塩ガラスファイバのいずれかであることを特徴とする請求項 25 または 26 に記載の光ファイバ増幅器。

【書類名】明細書

【発明の名称】ファイバレーザ、自然放出光源及び光ファイバ増幅器

【技術分野】

【0001】

本発明は、ファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ増幅器に関し、特にコア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素を添加した光ファイバを利得媒質とした $2\mu\text{m}$ 帯近傍で動作するファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ増幅器に関する。

【背景技術】

【0002】

図1はツリウムイオンのエネルギー準位図（非特許文献1参照）であり、図1中の各エネルギー準位の右側にエネルギー値を、図1中の各エネルギー準位の左側に各準位の名称を、矢印に付与された数字は各矢印の遷移が生じたときに吸収（図1中、上向きの矢印（図示しない）に相当する）、または放出（図1中、下向きの矢印に相当する）される光の波長をそれぞれ示す。ただし、エネルギーの単位は、波数単位を基本とした $1/\text{cm}$ （分光学で言うと、 K （カイザー）に相当する）で表し、エネルギー準位の名称は、Russell-Saunders（ラッセル・ソンドーズ）の表記法にもとづくものであり、アルファベットの大文字は合成軌道角運動量を、その上付きの添数字は電子の全スピン角運動量にもとづくスペクトル項の多重度を、その下付きの添数字は全角運動量をそれぞれ表すものである。なお、 $^3\text{H}_6$ 準位は、結晶電場によって生じるシュタルク効果により、縮退していた準位が分裂して広がった幅のある準位となっている。

【0003】

ツリウム（ Tm ）をコアに添加したファイバにおいては、ツリウムイオンの図1中の $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 遷移（ツリウムイオンのエネルギーが $^3\text{H}_4$ 準位から $^3\text{H}_6$ 準位に移ることを表すものとし、以下、この表記法に従う。）を用いた $1.9\mu\text{m}$ 帯、

$^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_5$ 遷移を用いた $2.3\mu\text{m}$ 帯、

$^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 遷移を用いた $0.82\mu\text{m}$ 帯

$^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 遷移を用いた $1.48\mu\text{m}$ 帯、

を用いたファイバレーザ、自然放出光源、或いは光ファイバ増幅器への応用が検討されている。なお、上記遷移間でのファイバレーザ、自然放出光源、或いは光ファイバ増幅器を高効率で実現するために、 Tm （ツリウム）を添加するファイバとして、フッ化物ファイバが用いられている。この Tm 添加フッ化物ファイバの中で、 $2.3\mu\text{m}$ 帯は半導体レーザで発振が難しく、計測用への応用をする上で重要な波長域となってきた。

【0004】

これまで、

(1) Tm 添加フッ化物ファイバに、 $0.67\mu\text{m}$ 帯励起（ $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{F}_3$ 準位に励起）（非特許文献1参照）を適用して、 $0.82\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\mu\text{m}$ 帯、 $1.9\mu\text{m}$ 帯及び $2.35\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、

(2) Tm 添加フッ化物ファイバに、 $0.8\mu\text{m}$ 帯励起（ $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{F}_4$ 準位に励起）（非特許文献2、あるいは特許文献1参照）、を適用して、 $2.35\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、

(3) Tm 添加フッ化物ファイバに、 0.8 （ 0.79 ） μm 帯励起（特許文献1参照）に適用して、 $0.82\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\mu\text{m}$ 帯、 $1.9\mu\text{m}$ 帯及び $2.35\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振、

(4) Tm 添加フッ化物ファイバに、 $1.55\sim 1.75\mu\text{m}$ 帯励起、 $^3\text{H}_6$ 準位にあるツリウムイオンを $^3\text{H}_4$ 準位に励起（特許文献2参照）を適用して、 $1.9\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振及び光ファイバ増幅器、

(5) Tm 添加フッ化物ファイバに、 $1.06\mu\text{m}$ 帯励起（特許文献2参照）を適用して、 $1.48\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振及び光ファイバ増幅器、
が報告されており、上記報告の(1)、(2)及び(3)により、 $2.3\mu\text{m}$ 帯ファイバ

レーザがすでに開発されている。

【0005】

【特許文献1】特開平3-293788号公報

【特許文献2】特開平6-283798号公報

【非特許文献1】J.Y. Allain et al., "Tunable CW lasing around 0.82, 1.48, 1.88 and 2.35 μm in Thulium-doped fluorozirconate fiber" Electron. Lett., Vol. 25, No.24, pp.1660-1662, 1989

【非特許文献2】L. Esterowitz et al., "Pulsed laser emission at 2.3 μm in a Thulium-doped fluorozirconate fiber", Electron. Lett., Vol.24, No.17, p.1104, 1988,

【非特許文献3】A. Taniguchi, et al., "1212-nm pumping of 2 μm Tm-Ho-codoped silica fiber laser", Appl. Phys. Lett., Vol.81, pp.3723-3725, 2002 発行

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、0.67 μm 或いは 0.8 μm 帯励起は、活性媒体として Tm 添加フッ化物ファイバを用いたもののみが報告されて、他のガラスホスト（母材）を用いた Tm 添加ファイバに関しての報告はなかった。すなわち、これまで、如何なるガラスホストのファイバが 2.3 μm 帯動作のレーザ应用到に適するのかは明らかになっていなかった。

【0007】

さらに、Tm を添加してフッ化物ファイバに波長 1.05 μm 以下の強い光を入射すると、フッ化物ファイバ自体の損失が増加するというフォトダークニングが発生する現象がある。図2は、Tm 添加フッ化物ファイバ（添加濃度 2000 wt. ppm、ファイバ長 20m、比屈折率差 3.7%）に 1.047 μm 帯 Nd-YLF レーザ光、500mW を入射する前（実線の曲線）と、56時間後（破線の曲線）の損失スペクトルを示す。この損失増はレーザ光の入射によりフッ化物ファイバのガラス中に欠陥が生じるためであり、この現象はその入射する波長が短波長になればなるほど顕著になる。このため、0.67 μm 或いは 0.8 μm 帯励起を用いた Tm 添加フッ化物ファイバによる 2.3 μm 帯動作のレーザ应用到を考えた場合には、その発振効率が時間と共に減少し、最後には、レーザ発振ができなくなると言う信頼性上の課題があった。

【0008】

また、1.2 μm 帯励起を用いた Tm^{3+} と Ho を共添加したフッ化物ファイバによる 1.9 μm 帯のレーザ発振が報告されている（非特許文献3参照）。しかし、これは、 Tm^{3+} の $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を利用するものではなく、また 2.3 μm 帯の発光に関するものでもない。

【0009】

本発明は、かかる事情に鑑みなされたものであり、その目的は、

1) 2.3 μm 帯で動作するために必要な Tm を添加するガラスホストを明確にして、同帯域で動作するファイバレーザ、自然放出 (ASE) 光源、及びファイバ増幅器を確実に実現する

と共に、

2) フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明の特徴は以下の2点にある。

1) 2.3 μm 帯で動作するために必要な Tm を添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスよりも低いガラスを用いる。

2) フォトダークニングによるファイバ特性の劣化をなくすために Tm 添加ファイバに入射する励起の波長として 1.2 μm 帯を用いる。

【発明の効果】

【0011】

本発明は、以下の効果を奏する。

- 1) Tmを添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスより低いガラスを用いるので、2.3 μm 帯域で動作するファイバレーザ、ASE光源及びファイバ増幅器を確実に実現することができる。
- 2) Tm添加ファイバに入射する励起の波長として1.2 μm 帯(1.2 μm 帯励起)を用いるので、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下に、本発明を実施するための最良の形態を、上記の本発明の特徴1)、2)に基づいて詳細に説明する。

【0013】

—本発明の特徴1)の説明—

Tmを添加した光ファイバの2.3 μm 帯の蛍光は、図1に示すように $^3\text{F}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移による。また、この遷移によるレーザ応用を実現する場合には、 $^3\text{F}_4$ 準位に滞在するTmイオンの滞在時間を長く(つまり、蛍光寿命を長く)して、 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間で反転分布を形成する必要がある。このためには、 $^3\text{F}_4$ 準位から $^3\text{H}_5$ 準位に非発光で緩和するTmイオンを減らすことが重要であると考えられる。図3に、各種ガラスの非発光緩和率の特性を示す。なお、この非発光は $^3\text{F}_4$ 準位から $^3\text{H}_5$ 準位へのマルチフォノン緩和に起因する。 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間のエネルギー差は $\sim 4300(1/\text{cm})$ であり、石英ガラス(ケイ酸塩ガラス)に比べ、テルライトガラス、ゲルマン酸塩ガラス、フッ化物ガラス、カルコゲナイドガラスが小さな非発光緩和率を有することが図3から分かる。また、図3に記載していないが、ビスマス系ガラス及びフッソリン酸ガラスも石英に比べて非発光緩和率は小さい。この知見に従い、各種のガラスホストの異なるTm添加光ファイバを作製して、0.67 μm 帯励起、0.8 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを実測し、その結果を図4、図5、図6に示す。

【0014】

なお、ここで使用した光ファイバの諸元は、

- ・ Tm添加フッ化物ファイバ: Tm添加濃度2000 wt. ppm、比屈折率差1.6%、カットオフ波長1.5 μm 、ファイバ長10m
 - ・ Tm添加テルライトファイバ: Tm添加濃度2000 wt. ppm、比屈折率差2.5%、カットオフ波長1.4 μm 、ファイバ長10m
 - ・ Tm添加カルコゲナイドガラスファイバ: Tm添加濃度2000 wt. ppm、比屈折率差1.0%、カットオフ波長1.5 μm 、ファイバ長5m
 - ・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ: Tm添加濃度1500 wt. ppm、比屈折率差1.1%、カットオフ波長1.3 μm 、ファイバ長10m
 - ・ Tm添加石英ファイバ: Tm添加濃度1500 wt. ppm、比屈折率差1.8%、カットオフ波長1.2 μm 、ファイバ長10m
 - ・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ: Tm添加濃度1000 wt. ppm、比屈折率差2.5%、カットオフ波長1.43 μm 、ファイバ長3m
 - ・ Tm添加フッソリン酸ガラスファイバ: Tm添加濃度2500 wt. ppm、比屈折率差1.1%、カットオフ波長1.36 μm 、ファイバ長3.5m
 - ・ Tm添加リン酸ガラスファイバ: Tm添加濃度1800 wt. ppm、比屈折率差1.55%、カットオフ波長1.53 μm 、ファイバ長2.9m
- である。また、励起光量は0.67 μm 帯が200 mW、0.8 μm 帯が150 mWである。

【0015】

図4、図5、図6に示すように、石英ガラスに比べ、小さな非発光緩和率を有する、テ

ルライトガラスファイバもゲルマン酸塩ガラスファイバ、フッ化物ファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ、ビスマス系ガラスファイバ及びフツリン酸ガラスファイバにおいて、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の自然放出光が観測された。一方、石英系ファイバ及び、石英ガラスよりも大きな非発光緩和率を有するリン酸ガラスファイバでは、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の自然放出光が観測されなかった。このことにより、石英ガラスに比べて、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が小さなガラスをホストガラスとした光ファイバにより、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の蛍光が得られることが明らかとなった。すなわち、この蛍光により、 Tm を添加するガラスホストとして、マルチフォノン緩和に起因する非発光緩和率が、石英ガラスよりも低いガラスを用いることで、 $2.3\mu\text{m}$ 波長域でのレーザ応用が可能であることが明らかであることが分かる。

【0016】

一本発明の特徴2)の説明—

始めに、 Tm 添加ファイバへの $1.2\mu\text{m}$ 帯励起による $2.3\mu\text{m}$ 帯のレーザ応用(ファイバレーザ、自然放出光源、及び光増幅器)に関して説明する。本励起による $2.3\mu\text{m}$ 帯レーザ応用は、 $1.2\mu\text{m}$ 帯の励起により、 $^3\text{H}_6$ 基底準位にあるツリウムイオンをまず $^3\text{H}_5$ 準位に励起し、この準位のから $^3\text{H}_4$ 準位にいったん無輻射過程により緩和し、さらに $^3\text{H}_4$ 準位から $^3\text{F}_2$ 準位に励起し、最後に $^3\text{F}_2$ 準位にあるツリウムイオンを無輻射過程により $^3\text{F}_4$ 準位に緩和することにより、 $^3\text{F}_4$ 準位と $^3\text{H}_5$ 準位間に反転分布を形成することによって実現されると考える。(なお、 Tm 添加ファイバに入射する励起の波長として $1.2\mu\text{m}$ 帯($1.2\mu\text{m}$ 帯励起))を用いて $2.3\mu\text{m}$ 帯のレーザ応用(ファイバレーザ、自然放出光源及び光増幅器)を実現することに関して従来は全く報告されていなかった。)

【0017】

図7に $1.2\mu\text{m}$ 帯励起 Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバ及び Tm^{3+} 添加テルライトファイバの自然放出光スペクトルを示す。 $^3\text{F}_4$ 準位 \rightarrow $^3\text{H}_5$ 準位に起因する $2.3\mu\text{m}$ 帯(蛍光ピークは $2.05\mu\text{m}$ であるが、これは $1.2\mu\text{m}$ 帯の励起光量によってシフトする)の自然放出光スペクトルが生ずることが分かり、 $1.2\mu\text{m}$ 帯の励起光量によって Tm 添加フッ化物ファイバ、 Tm 添加テルライトガラスファイバにより $2.3\mu\text{m}$ 帯で蛍光が生ずるとするのは本発明者らによる新たな知見であり、従来知られていなかったものである。なお、 Tm 添加石英系ファイバでは $2.3\mu\text{m}$ 帯の蛍光は観測されない。

【0018】

さらに、図8に、 $1.2\mu\text{m}$ 帯励起 Tm^{3+} 添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加カルコゲナイドガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加ビスマス系ガラスファイバ、及び Tm^{3+} 添加フツリン酸ガラスファイバの自然放出光特性も合わせて示す。この特性も、 $1.2\mu\text{m}$ 帯励起 Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバ及び Tm^{3+} 添加テルライトファイバと同様に、本発明者らによる新たな知見であると共に、本発明の特徴1)で明らかにされた石英ガラスに比べ、小さな非発光緩和率を有するガラスをホストガラスとした光ファイバにより、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の蛍光が得られることが $1.2\mu\text{m}$ 帯励起でも明らかとなった。すなわち、このことにより、 $1.2\mu\text{m}$ 帯励起により、 $2.3\mu\text{m}$ 帯でのレーザ応用が可能であることが明らかであることが分かる。

【0019】

なお、 $1.2\mu\text{m}$ 帯励起を用いた Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバに関しては、それ自体の報告はないが、 Tm^{3+} とホロニウム(Ho)の両者を共添加した $\text{Tm}-\text{Ho}$ 共添加ファイバによる $1.9\mu\text{m}$ 帯のレーザ発振が報告(非特許文献3参照)されている。しかし、この報告は、 Tm^{3+} の $^3\text{H}_4$ から $^3\text{H}_5$ 準位へのレーザ遷移を利用するものではなく、また $2.3\mu\text{m}$ 帯に関するものではない。

【0020】

次に、フォトダークニングによるファイバ特性の劣化のない高信頼性化に関して説明する。図9に、 Tm 添加フッ化物ファイバ(添加濃度 2000wt. ppm 、ファイバ長 20m 、比屈折率差 3.7%)に $1.21\mu\text{m}$ 帯半導体LD光、 $\sim 500\text{mW}$ を入射する前

(実線の曲線)と、100時間後(鎖線の曲線)の損失スペクトルを示す。この結果からわかるように、1.2 μm 帯励起を採用することにより、フッ化物ファイバ自体の損失が増加するというフォトダークニングを抑えることが実現でき、高信頼を有する実用的な2.3 μm 帯レーザ応用が可能であることが分かる(若干励起光を入射する前と1.21 μm 帯励起光入射後のスペクトルが異なっているが、これは測定精度に起因する誤差と考えられる)。

【0021】

さらに、下記の表1に、 Tm^{3+} 添加テルライトファイバ、 Tm^{3+} 添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加カルコゲナイドガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加ビスマス系ガラスファイバ及び Tm^{3+} 添加フツリン酸ガラスファイバ(本発明の特徴1に示す諸元の各ファイバを使用し、測定した)の1.047 μm 帯励起と1.21 μm 帯励起時の波長600nmにおける損失変化を示す。本結果から、フッ化物ファイバの他のガラスにファイバに対しても1.2 μm 帯励起が信頼性向上に有効であることが分かる。

【0022】

【表1】

ファイバ	1.047 μm 帯励起(500mW, 56時間)後の単位当りの損失増(波長600nm) (dB/m)	1.2 μm 帯励起(500mW, 100時間)後の単位当りの損失増(波長600nm) (dB/m)
テルライトガラスファイバ	0.81	<0.01
ゲルマン酸塩ガラスファイバ	0.92	<0.01
カルコゲナイドガラスファイバ	0.77	<0.01
ビスマス系ガラスファイバ	0.71	<0.01
フツリン酸ガラスファイバ	0.85	<0.01

【実施例】

【0023】

以下に、図面を参照して本発明をより具体的に詳述するが、以下に開示する本発明の実施例は本発明の単なる例示に過ぎず、本発明の範囲を何等限定するものではない。

【0024】

(第1の実施例)

本発明の第1の実施例では2.3 μm 帯及び1.8 μm 帯のファイバレーザへの本発明の応用を説明する。図10に本発明の第1の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質である Tm^{3+} 添加ファイバ、2は1.2 μm 帯励起光源(半導体レーザ、発振は長1.21 μm 、最大出力200mW)、3はダイクロイックミラー(1.2 μm 帯の光を反射、1.6~2.4 μm 帯光を透過)、4は反射ミラー(1.6~2.4 μm 帯で反射率50%、1.2 μm 帯光は100%透過)、5は2.3 μm 帯及び1.8 μm 帯バンドパスフィルタ(同フィルタの透過特性を図11に示す)、6は集光レンズ、7は全反射ミラー(1.6~2.4 μm 帯光で反射率95%以上)である。

【0025】

使用した Tm^{3+} 添加ファイバ1の諸元は、

- ・ Tm 添加フッ化物ファイバ： Tm 添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.6%、カットオフ波長1.5 μm 、ファイバ長5m
- ・ Tm 添加テルライトファイバ： Tm 添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差2.5%、カットオフ波長1.4 μm 、ファイバ長5m
- ・ Tm 添加カルコゲナイドガラスファイバ： Tm 添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.0%、カットオフ波長1.5 μm 、ファイバ長6m
- ・ Tm 添加ゲルマン酸ガラスファイバ： Tm 添加濃度1500wt. ppm、比屈折

率差 1. 1%、カットオフ波長 1. 3 μm 、ファイバ長 5 m

・ Tm 添加ビスマス系ガラスファイバ: Tm 添加濃度 1000 wt. ppm、比屈折率差 2. 5%、カットオフ波長 1. 43 μm 、ファイバ長 4. 5 m

・ Tm 添加フツリン酸ガラスファイバ: Tm 添加濃度 2500 wt. ppm、比屈折率差 1. 1%、カットオフ波長 1. 36 μm 、ファイバ長 5. 5 m
である。

【0026】

各々の Tm³⁺ 添加ファイバ 1 に入射する 1. 2 μm 帯励起光量が 50 mW であり、バンドパスフィルタ 5 として 2. 3 μm 帯 (透過中心波長 2. 205 μm) バンドパスフィルタを使用した場合において、2. 205 μm で Tm 添加フッ化物ファイバを用いた場合、1. 5 mW、Tm 添加テルライトファイバを用いた場合、2. 2 mW、Tm 添加カルコゲナイドガラスファイバを用いた場合、0. 6 mW、Tm 添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合、0. 4 mW、Tm 添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合、1. 3 mW、Tm 添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合のそれぞれにおいて、1. 1 mW のレンズ発振が実現した。

【0027】

さらに、各々の Tm 添加ファイバに入射する 1. 2 μm 帯励起光量が 50 mW、バンドパスフィルタ 5 として 1. 8 μm 帯 (透過中心波長 1. 801 μm) バンドパスフィルタを使用した場合において、1. 801 μm で Tm 添加フッ化物ファイバを用いた場合、2. 4 mW、Tm 添加テルライトファイバを用いた場合、3. 2 mW、Tm 添加カルコゲナイドガラスファイバを用いた場合、0. 8 mW、Tm 添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合、0. 7 mW、Tm 添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合、1. 9 mW、Tm 添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合のそれぞれにおいて、1. 4 mW のレーザ発振が実現した。

【0028】

さらに、バンドパスフィルタ 5 をチューナブルフィルタに変更することにより、2. 3 μm 帯と 1. 8 μm 帯の両波長域でレーザ発振が可能であり、Tm 添加フッ化物ファイバとチューナブルフィルタを用いて 1. 75 ~ 2. 21 μm 帯の波長可変が実現できた。

【0029】

また、図 12 に、本実施例において Tm³⁺ 添加フッ化物ファイバを用いたファイバレーザの出力光量の時間安定性を示す (2. 205 μm レーザ初期出力 1. 5 mW)。また、同図には 0. 67 μm 帯励起時の特性を合わせて示す (上記と同じレーザ初期出力)。この結果より、1. 2 μm 帯励起を用いることにより、高信頼のファイバレーザ応用が可能であることが確認された。

【0030】

また、Tm 添加テルライトファイバ、Tm 添加カルコゲナイドガラスファイバ、Tm 添加ゲルマン酸ガラスファイバ、Tm 添加ビスマス系ガラスファイバ、Tm 添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合においても、1000 時間動作後のレーザ出力光変動も 10% 以内であり、これらのガラスにおいても 1. 2 μm 帯励起を用いることにより、高信頼化が実現できることが明らかとなった。

【0031】

(第 2 の実施例)

本発明の第 2 の実施例では、2. 3 μm 帯の光ファイバ増幅器への本発明の応用を説明する。図 13 に本発明の第 2 の実施例の構成を示す。ここで、1 は利得媒質である Tm³⁺ 添加ファイバ、2 は 1. 2 μm 帯励起光源 (半導体レーザ、発振は長 1. 21 μm 、最大出力 200 mW)、3 はダイクロイックミラー (1. 2 μm 帯の光を反射、1. 6 ~ 2. 4 μm 帯光を透過)、6 は集光レンズである。

【0032】

利得媒質 1 として、

・ Tm 添加フッ化物ファイバ (Tm 添加濃度 2000 wt. ppm、比屈折率差 1.

6%、ファイバ長11m)を用いることにより、2.205 μ m信号光に対して信号利得8.3dB(1.2 μ m帯励起光量が62mWの時)

・ Tm添加テルライトファイバ(Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差2.5%、ファイバ長5m)を用いることにより、2.205 μ m信号光に対して信号利得5.8dB(1.2 μ m帯励起光量が52mWの時)

・ Tm添加カルコゲナイドガラスファイバ(Tm添加濃度2000wt. ppm、比屈折率差1.0%、ファイバ長5m)を用いることにより、2.205 μ m信号光に対して信号利得3.8dB(1.2 μ m帯励起光量が75mWの時)

・ Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバ(Tm添加濃度1500wt. ppm、比屈折率差1.1%、ファイバ長6m)を用いることにより、2.205 μ m信号光に対して信号利得2.7dB(1.2 μ m帯励起光量が73mWの時)

・ Tm添加ビスマス系ガラスファイバ(Tm添加濃度1000wt. ppm、比屈折率差2.5%、ファイバ長5.5m)を用いることにより、2.205 μ m信号光に対して信号利得4.7dB(1.2 μ m帯励起光量が55mWの時)

・ Tm添加フツリン酸ガラスファイバ(Tm添加濃度2500wt. ppm、比屈折率差1.1%、ファイバ長4.3m)を用いることにより、2.205 μ m信号光に対して信号利得2.2dB(1.2 μ m帯励起光量が86mWの時)

がそれぞれ実現できた。

【0033】

また、上記各種Tm添加ファイバを用いた場合において、上記励起条件で1.8 μ m帯でも信号利得を同時に実現し、Tm添加フッ化物ファイバを用いた場合は、6.2dB(波長1.805 μ m)、Tm添加テルライトファイバを用いた場合は、5.1dB(波長1.805 μ m)、Tm添加カルコゲナイドガラスファイバを用いた場合は、3.2dB(波長1.805 μ m)、Tm添加ゲルマン酸ガラスファイバを用いた場合は、3.2dB(波長1.805 μ m)、Tm添加ビスマス系ガラスファイバを用いた場合は、7.5dB(波長1.805 μ m)、Tm添加フツリン酸ガラスファイバを用いた場合は、2.8dB(波長1.805 μ m)のレーザ発振がそれぞれ実現した。

【0034】

(第3の実施例)

本発明の第3の実施例では、2.3 μ m帯の自然放出光源への本発明の応用を説明する。図14に、本発明の第3の実施例の構成を示す。ここで、1は利得媒質であるTm³⁺添加ファイバ、2は1.2 μ m帯励起光源(半導体レーザ、発振は長1.21 μ m、最大出力200mW)、3はダイクロイックミラー(1.2 μ m帯の光を反射、2.2 μ m帯光を透過)、6は集光レンズである。

【0035】

前述の図7、図8に示したように、Tm³⁺添加フッ化物ファイバ、Tm³⁺添加テルライトファイバ、Tm³⁺添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、Tm³⁺添加カルコゲナイドガラスファイバ、Tm³⁺添加ビスマス系ガラスファイバ及びTm³⁺添加フツリン酸ガラスファイバの自然放出光特性が得られる。本特性により2.3 μ m帯で動作する自然放出光源が実現できた。また、図7、図8から、2.3 μ m帯と共に1.8 μ m帯における自然放出光を利用できることが分かる。

【0036】

以上の第1～第3の実施例では、励起光源として、半導体レーザを用いたが、1.2 μ m帯ファイバラマンレーザ等、他の光源を用いても良い。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】 ツリウムイオンのエネルギー準位図である。

【図2】 Tm添加フッ化物ファイバのフォトダークニングを説明するグラフ図である。

【図3】 各種ガラスの非発光緩和率の特性を示すグラフ図である。

【図4】本発明に係わる0.67 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図5】本発明に係わる0.8 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図6】本発明に係わる0.67 μm 帯励起の0.8 μm 帯励起の2.3 μm 帯自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図7】本発明に係わる1.2 μm 帯励起 Tm^{3+} 添加フッ化物ファイバ及び Tm^{3+} 添加テルライトファイバの自然放出光スペクトルの図である。

【図8】本発明に係わる1.2 μm 帯励起 Tm^{3+} 添加ゲルマン酸塩ガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加カルコゲナイドガラスファイバ、 Tm^{3+} 添加ビスマス系ガラスファイバ及び Tm^{3+} 添加フツリン酸ガラスファイバの自然放出光スペクトルを示すグラフ図である。

【図9】本発明の1.2 μm 帯励起の有効性を説明するグラフ図である。

【図10】本発明の第1の実施例のファイバレーザの構成を示す模式図である。

【図11】本発明の第1の実施例における2.3 μm 帯及び1.8 μm 帯バンドパスフィルタの特性を示すグラフ図である。

【図12】本発明の第1の実施例における2.3 μm 帯ファイバレーザの出力特性を示すグラフ図である。

【図13】本発明の第2の実施例の光ファイバ増幅器の構成を示す模式図である。

【図14】本発明の第3の実施例の自然放出光源の構成を示す模式図である。

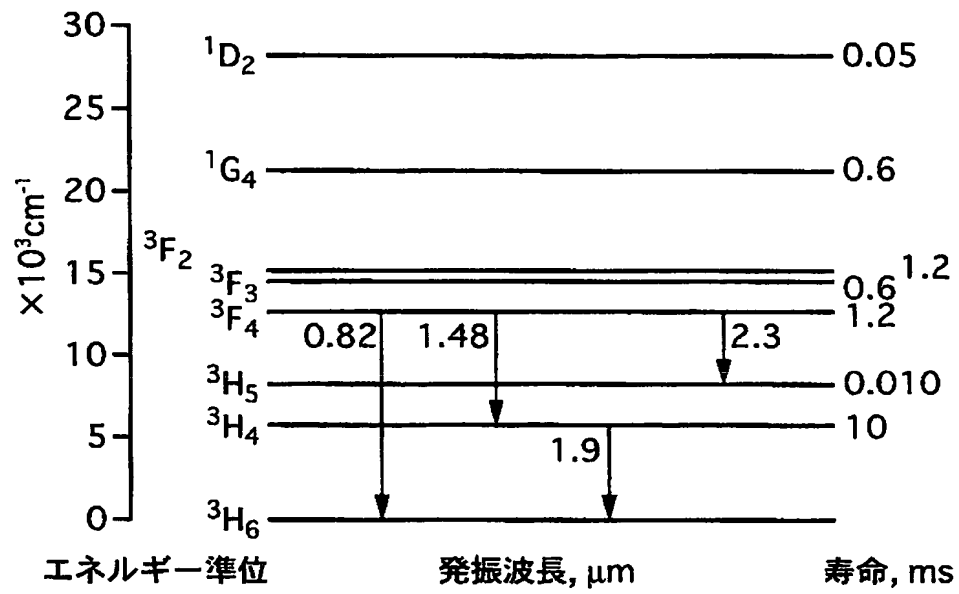
【符号の説明】

【0038】

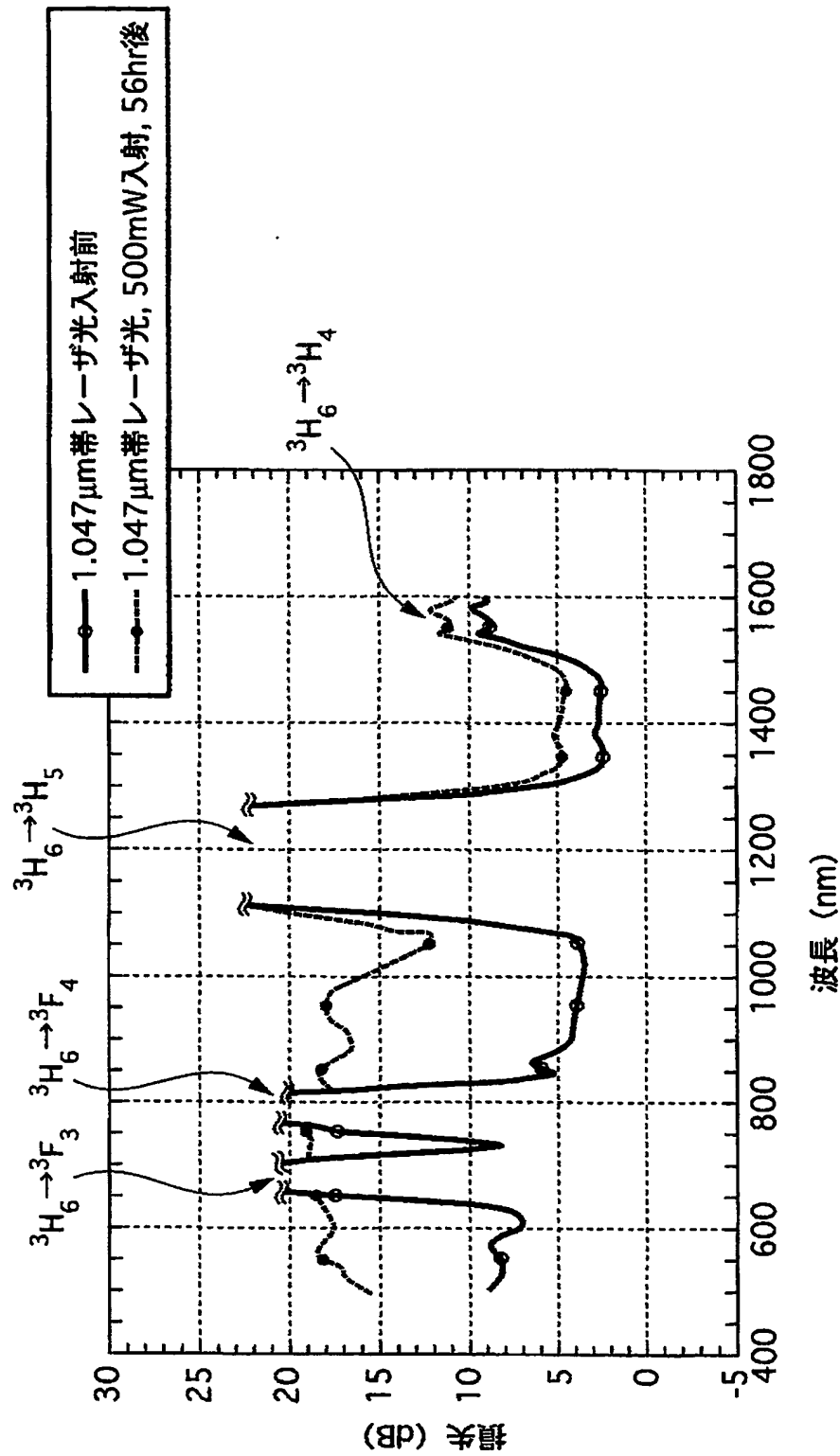
- 1 利得媒質である Tm^{3+} 添加ファイバ
- 2 1.2 μm 帯励起光源
- 3 ダイクロイックミラー
- 4 反射ミラー
- 5 2.3 μm 帯及び1.8 μm 帯バンドパスフィルタ
- 6 集光レンズ
- 7 全反射ミラー

【書類名】 図面

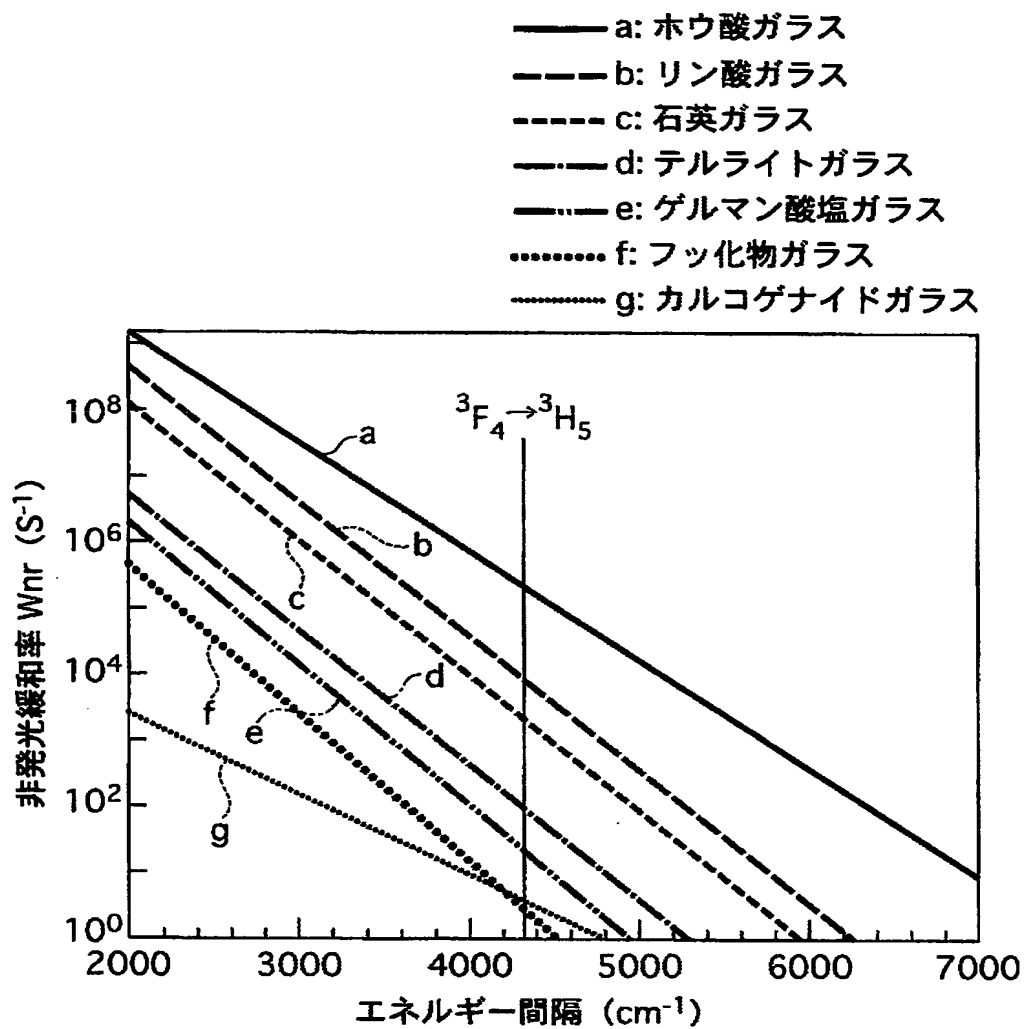
【図 1】



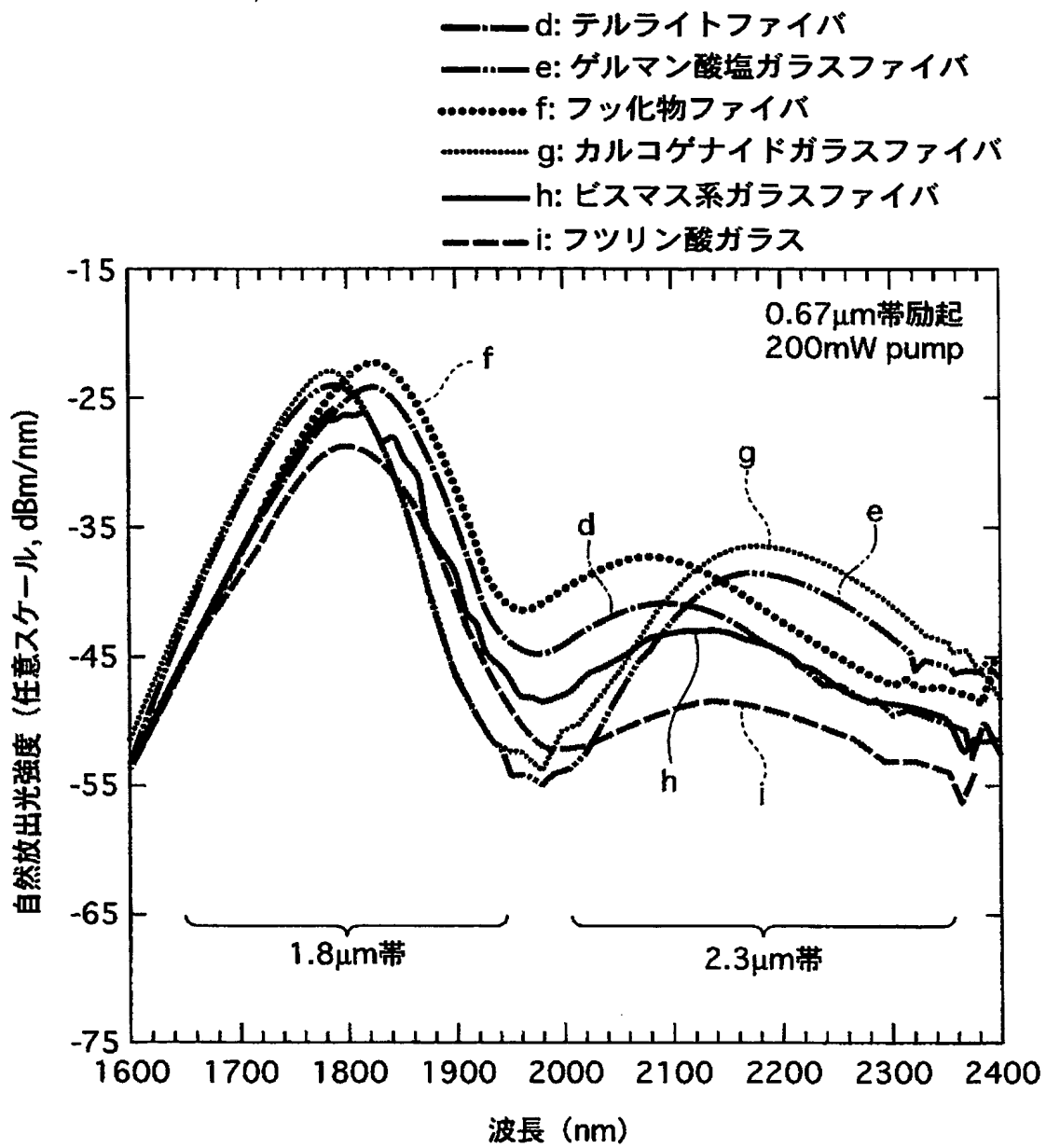
【図 2】



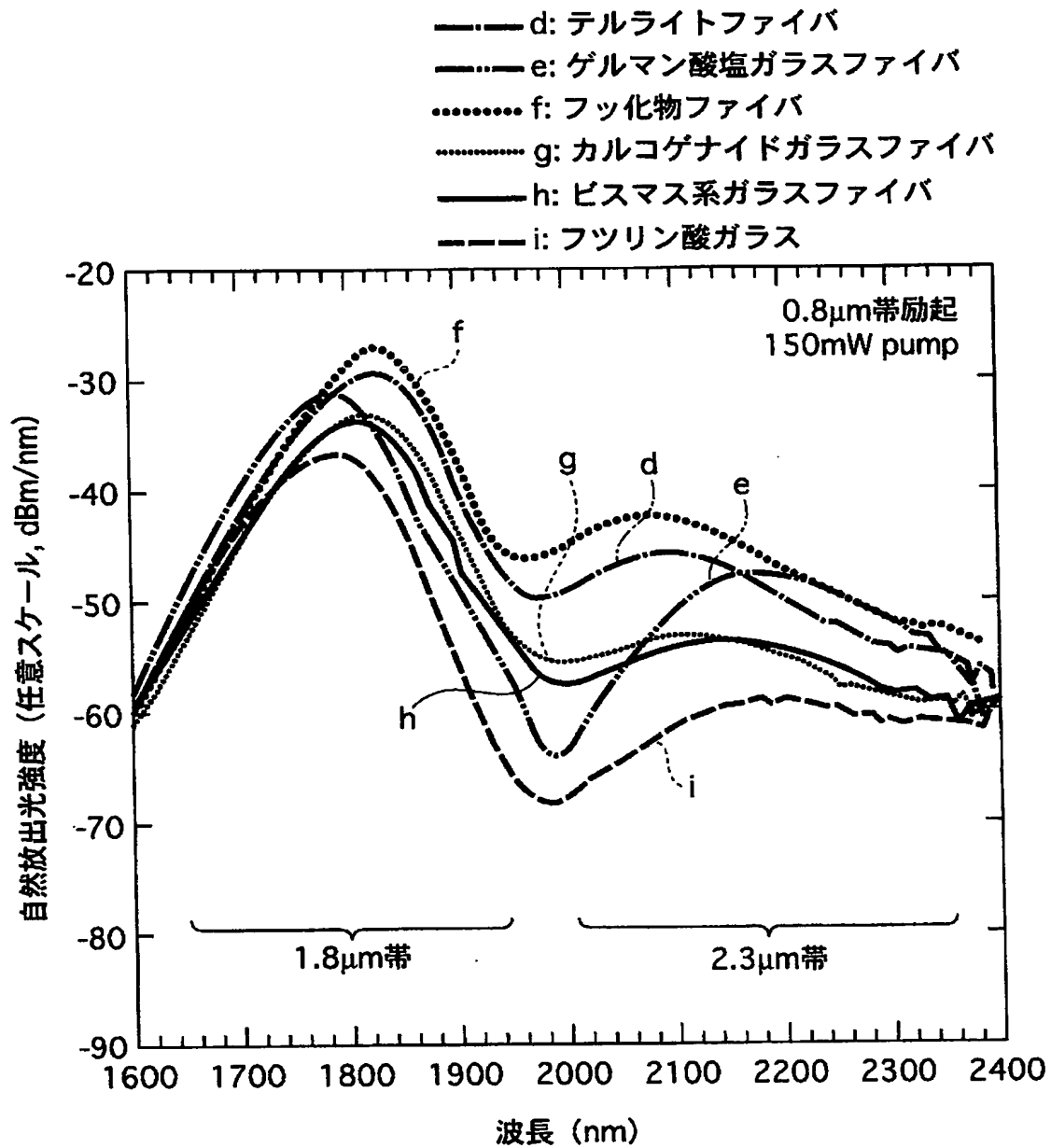
【図 3】



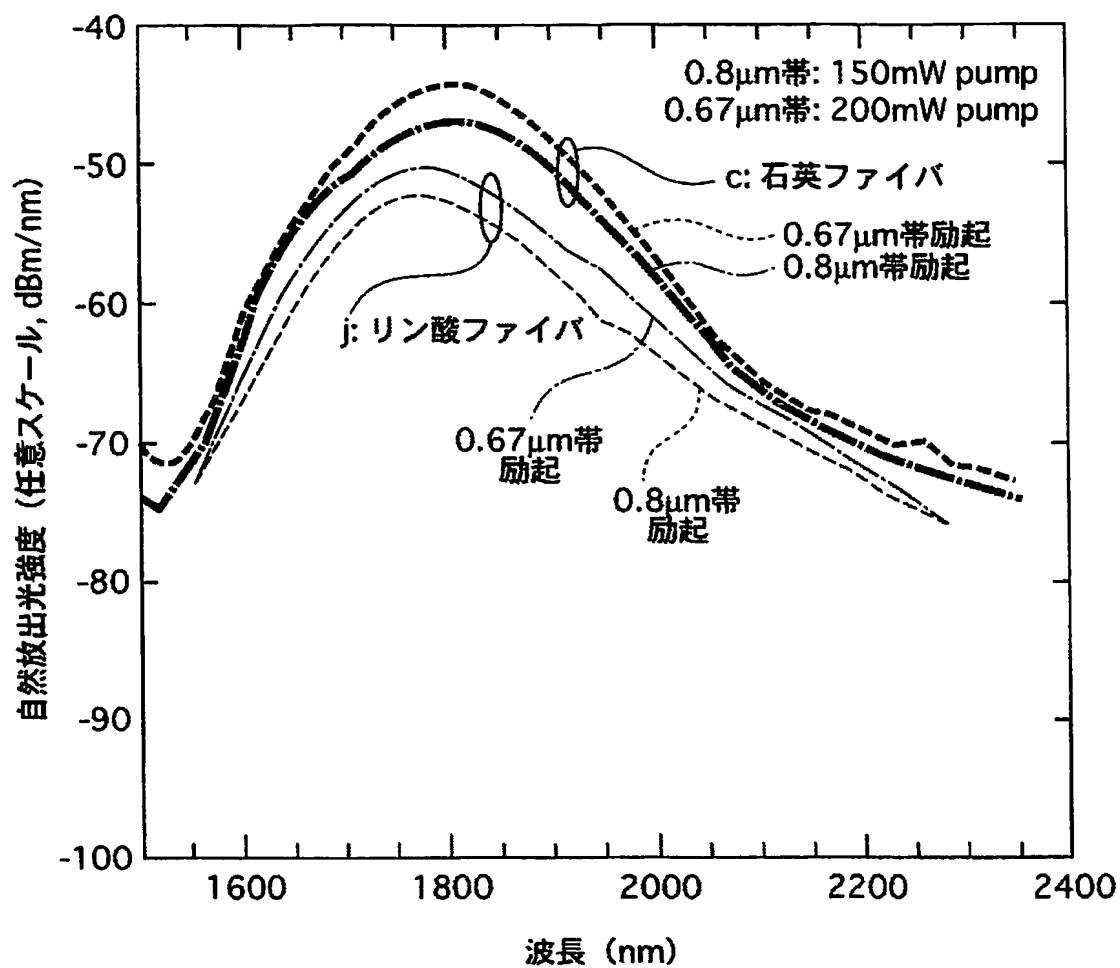
【図 4】



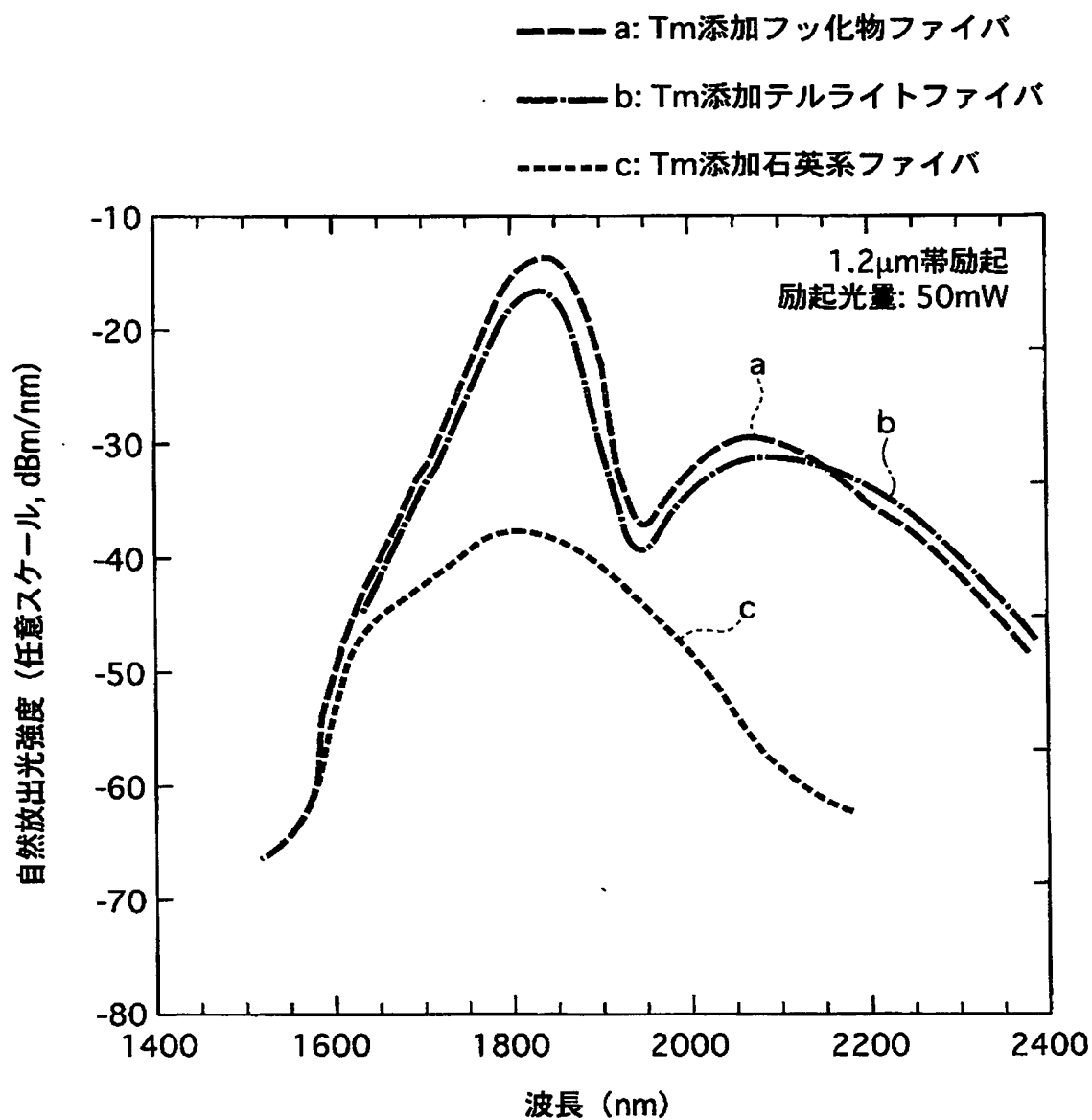
【図 5】



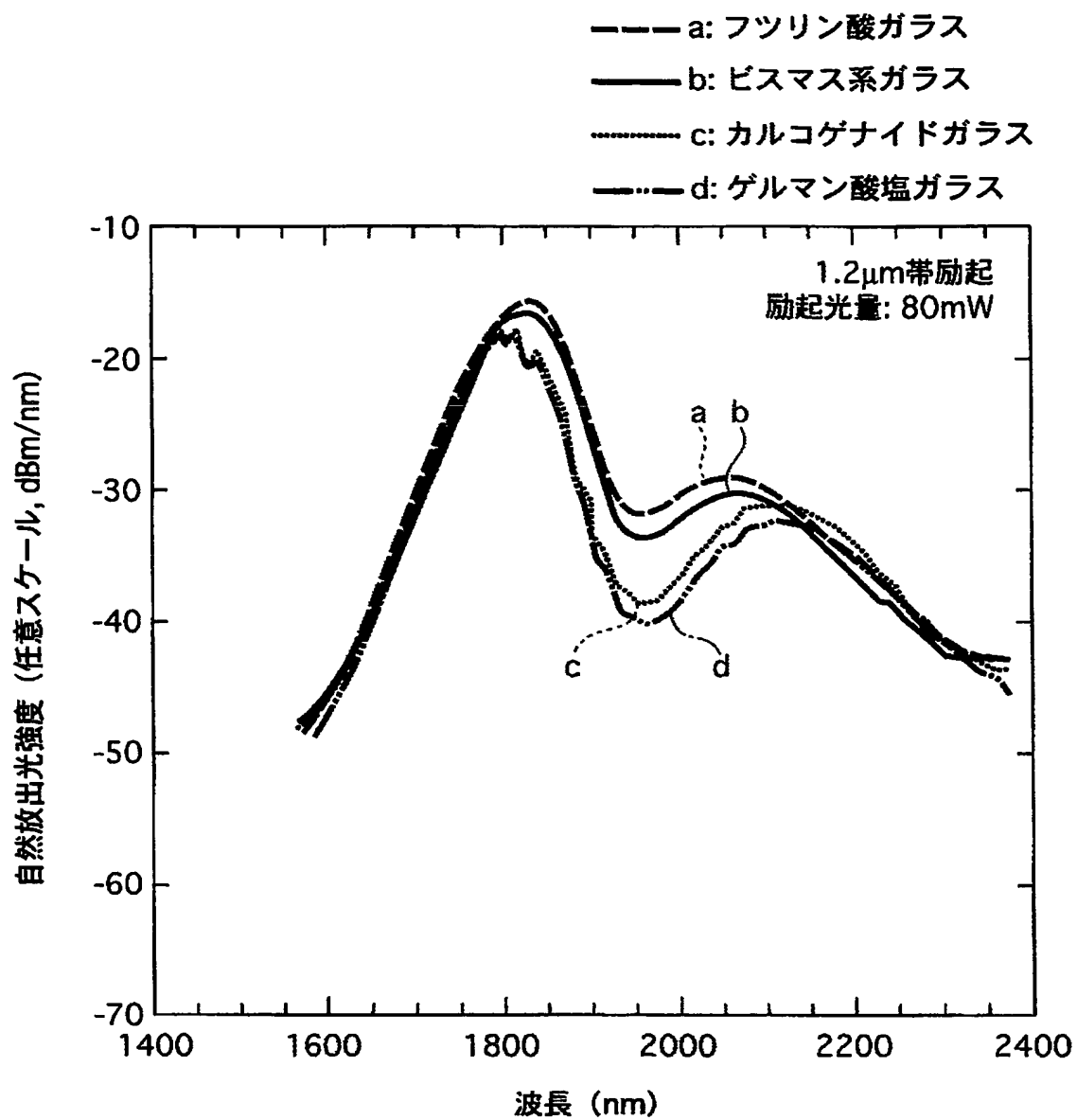
【図 6】



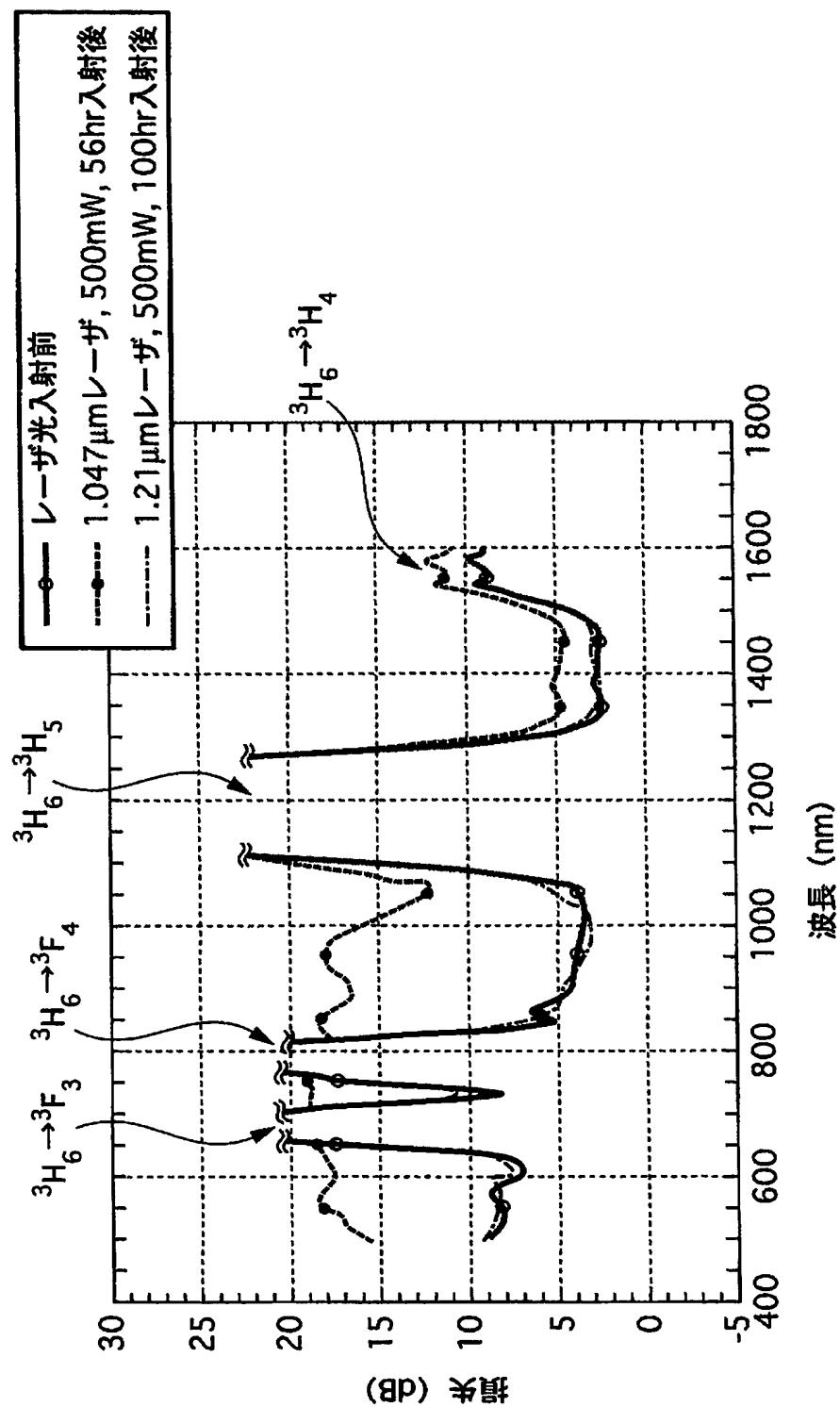
【図7】



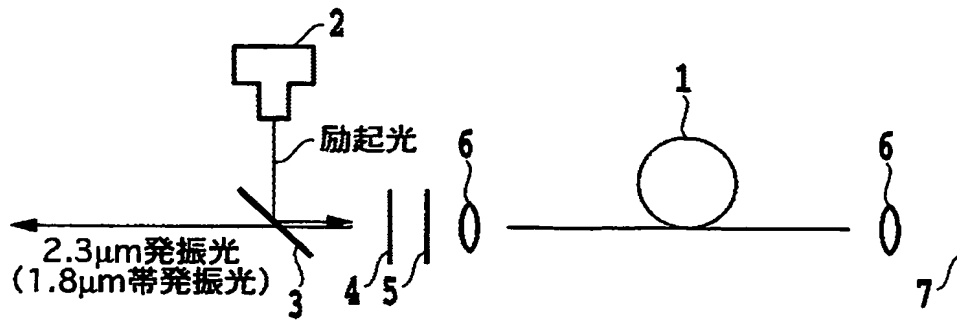
【図 8】



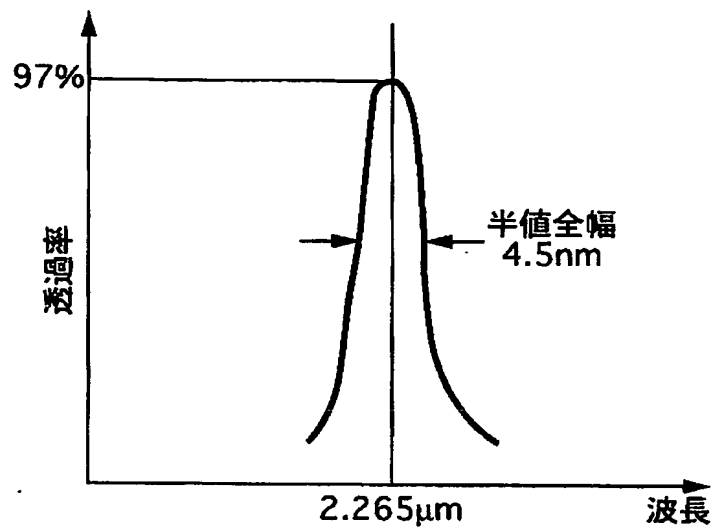
【図9】



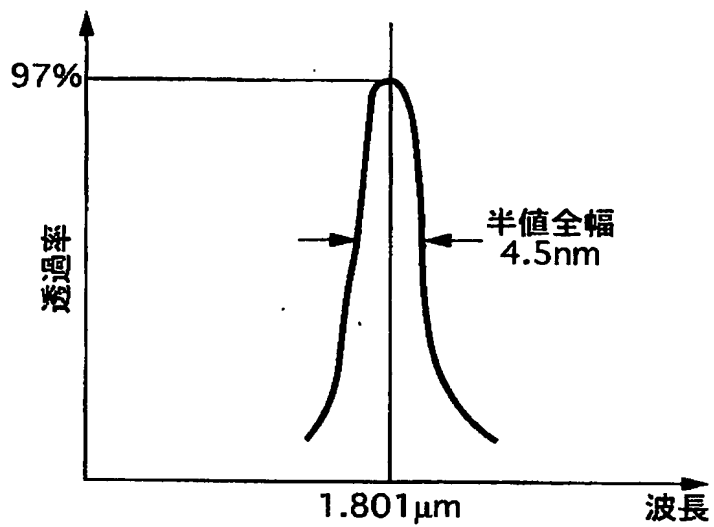
【図 10】



【図 11】

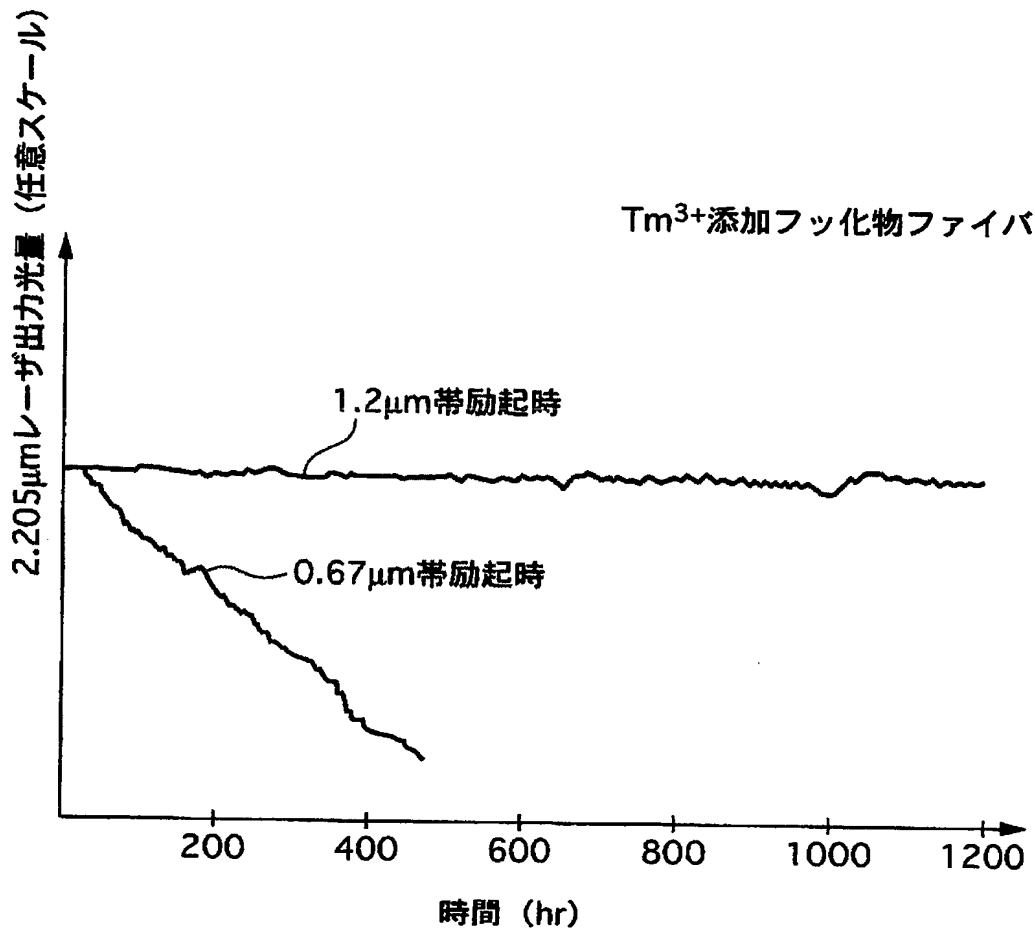


(A)

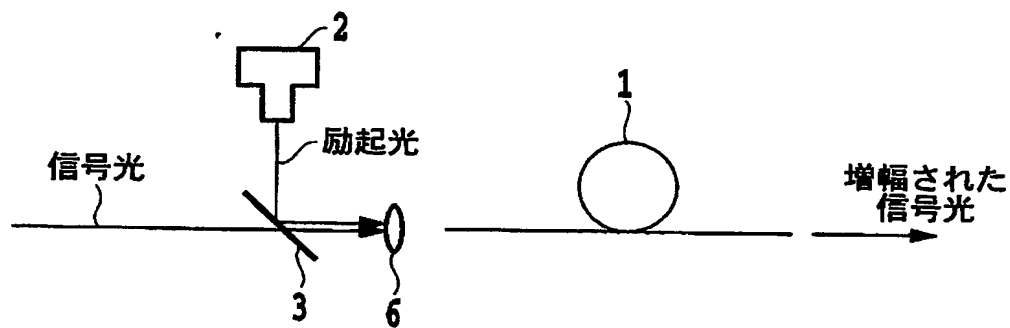


(B)

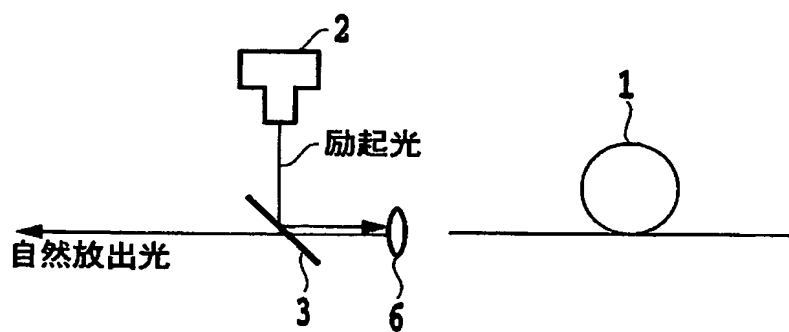
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 ファイバレーザ、自然放出光源、及び光ファイバ増幅器において、従来では、ツリウム (Tm) イオンを添加したファイバを、 $0.67\mu\text{m}$ あるいは $0.8\mu\text{m}$ の励起光で励起していたが、時間の経過とともに特性が劣化するという課題がある。

【解決手段】 励起光として $1.2\mu\text{m}$ の光を用いる。更に好ましい構成として、Tmを添加するホストガラスを明確にして、 $2.3\mu\text{m}$ 帯の発光効率を向上させた。

【選択図】 図12

特願 2 0 0 3 - 2 8 1 2 1 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.